

Paper CIT02-0449

RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DE MICROESTRUTURAS POROSAS COM O MÉTODO DAS ESFERAS SOBREPOSTAS

Luís O. Emerich dos Santos

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
emerich@lmpt.ufsc.br

Paulo C. Philippi

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
philippi@lmpt.ufsc.br

Celso P. Fernandes

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
celso@lmpt.ufsc.br

Henrique C. de Gaspari

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
gaspari@lmpt.ufsc.br

Resumo. *As propriedades físicas macroscópicas dos materiais são decorrentes da sua formação microestrutural. Desse modo, a permeabilidade de uma rocha reservatório de petróleo é dependente da distribuição de tamanho e da organização espacial da fase poro. Para a compreensão dessa influência e determinação das propriedades macroscópicas, os processos físicos têm sido simulados em modelos 3-D da estrutura. Os dados para a criação destes modelos são freqüentemente obtidos através de ensaios de intrusão de mercúrio, isotermas de adsorção, e mais recentemente com a utilização de técnicas de análise de imagens de seções 2-D do material. Outras técnicas têm sido utilizadas permitindo a determinação da geometria 3-D diretamente como a microtomografia e o seccionamento serial. Contudo estas técnicas são mais dispendiosas economicamente que as citadas anteriormente e, no caso da microtomografia, de baixa resolução espacial. O presente artigo trata da modelação 3-D, comumente chamada de reconstrução 3-D, de microestruturas porosas de forma a conservar propriedades geométricas medidas em imagens 2-D do material. O método da gaussiana truncada tem sido bastante utilizado para este fim, contudo, não tem se mostrado adequado para a preservação da geometria de estruturas fortemente correlacionadas espacialmente. O método das esferas sobrepostas apresentado neste artigo visa suprir esta deficiência, com a criação de modelos 3-D onde se impõe a preservação da distribuição de tamanho de grãos medida em imagens 2-D do material. Muito embora seja imposta a conservação da distribuição de grãos (modelados como esferas) objetiva-se a conservação da distribuição de tamanho e organização espacial da fase poro, onde ocorrem os processos de invasão de fluidos. O método é descrito, e aplicado para a reconstrução 3-D de diversas rochas. A geometria do meio reconstruído 3-D é comparada com a das imagens 2D tendo-se em vista a validação e aplicabilidade do método proposto e também suas limitações..*

Palavras chave: rocha reservatório de petróleo, microestrutura, reconstrução 3-D

1. Introdução

A geometria da microestrutura de materiais porosos, como por exemplo a de rochas reservatório de petróleo, é formada de um espaço poroso com formas bastante irregulares, dotado de uma complexa rede de interconexões. As propriedades macroscópicas destes materiais, como a permeabilidade e as curvas de pressão capilar, são fortemente dependentes da microestrutura.

Para a descrição de parâmetros relativos à microestrutura de materiais porosos, são freqüentemente utilizados ensaios de intrusão de mercúrio, isotermas de adsorção e dessorção de gases, e mais recentemente imagens microscópicas de seções bidimensionais (2-D) do material (Adler et al, 1990; Philippi et al, 1994; Fernandes et al, 2000). Outras técnicas têm sido utilizadas, permitindo a obtenção direta de imagens 3-D da microestrutura: microtomografia com raios-X (Hazlett, 1995; Paiva, 199X, Appoloni et al, 2002) e seccionamento serial (Koplik et al, 1984; Kwiecien et al, 1990). Contudo, estas técnicas são economicamente mais dispendiosas que as citadas anteriormente e no caso da microtomografia com raios-X de baixa resolução espacial para os propósitos de análise da microestrutura de rochas reservatório.

Com o uso de técnicas de análise de imagens 2-D pode-se quantificar um grande número de parâmetros microestruturais os quais podem ser utilizados como dados de entrada para a construção de modelos matemáticos estatisticamente representativos da microestrutura porosa 3-D, permitindo assim a simulação de fenômenos físicos. No processo de modelação microestrutural, procura-se a geração de sistemas 3-D de tal maneira que as seções planas destes sistemas conservem determinados parâmetros geométricos medidos em imagens 2D do material. Comumente, esta modelação é chamada de reconstrução 3-D de estruturas porosas. Freqüentemente, como no presente artigo, assume-se, *a priori*, que a microestrutura porosa apresenta homogeneidade e isotropia estatísticas.

Vários modelos têm sido propostos com este fim, citando-se os modelos de gaussiana truncada (Quiblier, 1984; Adler et al, 1990; Liang et al, 1998), e o de sistemas de percolação multiescala (Neimark, 1989, Fernandes et al, 1996; Fernandes et al, 2000). No sistema de percolação multiescala os dados de entrada consistem na distribuição de tamanhos de poros e de sólidos; no modelo de gaussiana truncada, a microestrutura 3-D é reconstruída partir da porosidade e da função de correlação a dois pontos, que são os dois primeiros momentos da função de fase do espaço poroso (Liang et al, 1998). O modelo sistema de percolação multiescala consiste em um processo de reconstrução onde as informações estatísticas são tomadas em relação a conjuntos de pixels, que formam objetos poros ou sólidos da estrutura. No modelo de gaussiana truncada as informações são tomadas ao nível do pixel, que dizer, a partir da função de fase da microestrutura.

No presente artigo apresenta-se um método de reconstrução cujo dado de entrada consiste na distribuição de tamanho dos grãos sólidos, medida em imagens 2-D do material com técnicas de morfologia matemática (Coster & Chermant, 1989). Isto é feito uma vez que a geometria dos grãos é muito mais simples que a dos poros, sendo modelados como esferas e imposta a conservação de sua distribuição de tamanho no modelo 3-D. Contudo, para fins de estudos de escoamento de fluidos, interessa-nos diretamente a distribuição de tamanho e organização espacial da fase poro. Desta forma, imposta e conservada a distribuição de tamanho de grãos, procede-se uma análise quantitativa da representatividade estatística de seções planas do espaço poroso no modelo 3-D à luz de suas características observadas nas imagens 2-D.

O método das esferas sobrepostas é colocado como uma alternativa ao método de gaussiana truncada e de sistemas de percolação multiescala os quais não têm se mostrado adequado para a preservação da geometria de estruturas fortemente correlacionadas espacialmente (dos Santos, 2002; Fernandes et al 200).

A seguir, descreve-se o método das esferas, aplicando-o para a reconstrução 3-D de rochas reservatório. A geometria de seções planas do meio reconstruído 3-D é comparada com a das imagens 2D, tecendo-se comentários sobre os resultados.

2. Descrição do método

Como dito, o objetivo dos métodos de reconstrução é a geração de estruturas tridimensionais que preservem algumas das características das imagens bidimensionais que servem como dados de entrada. No caso do método das esferas sobrepostas procura-se obter estruturas 3-D que, quando seccionadas, estas seções 2-D tenham distribuições de diâmetro de grãos que sejam semelhantes à distribuição de diâmetro de grãos da imagem original (2-D). Sendo assim, considera-se como dado de entrada a distribuição de diâmetro de grãos da imagem, também será considerado como dado de entrada a porosidade da imagem, denotada por ϕ . Para representar a distribuição de diâmetros de grãos utilizaremos a função $P_A(D) \in [0, \phi]$, que indica qual a proporção da área da imagem que é devida a grãos de diâmetro D.

O primeiro passo no processo de reconstrução é a determinação do número de esferas de cada diâmetro que deverão ser geradas. Para isso introduziremos a função $P_V(D) \in [0, \phi]$ que indica qual a proporção em volume da imagem reconstruída deve corresponder a esferas de diâmetro D. Esta distribuição pode ser escrita:

$$P_V(D) = \frac{n_e \pi D^3}{6L^3}, \quad (1)$$

onde $n_e = n_e(D)$ indica o número de esferas de diâmetro D que deverão ser geradas, L é a dimensão linear da imagem a ser gerada, obviamente $L^3 = V$ é o volume da imagem reconstruída.

Impondo que a distribuição obtida em 2-D deva ser reproduzida em 3-D igualamos a distribuição $P_V(D)$ à distribuição $P_A(D)$. E com isso obtemos o número de esferas associadas a cada diâmetro D que deverão ser geradas:

$$n_e(D) = \frac{6L^3 P_A(D)}{\pi D^3} \quad (2)$$

De posse do número de esferas que deverão ser geradas inicia-se um "looping" no qual serão geradas as esferas. Antes de ser iniciada a descrição deste looping é necessário que sejam descritos dois fatores que serão utilizados neste processo, são estes: o fator borda (f_B) e o fator de sobreposição (f_S). O fator de borda foi introduzido devido a natureza discreta dos objetos gerados. No contínuo, considerar ou não a fronteira de um sólido como fazendo parte deste sólido para o cálculo do volume é completamente irrelevante, entretanto, quando utiliza-se um espaço discreto isto se torna importante. Mais especificamente, considerar os voxels da fronteira como fazendo parte do sólido leva a um valor de volume maior do que não considerar estes voxels e em alguns casos estes valores são consideravelmente diferentes. Para contornar este problema durante o processo de geração das esferas foi introduzido o fator de borda que permite que se escolha entre considerar os voxels do contorno como fazendo parte do sólido ($f_B=1$), como não fazendo parte do sólido ($f_B=0$), ou ainda, para um valor intermediário de f_B , uma fração igual ao valor de f_B escolhido é considerada como parte do sólido. Isto é feito durante a geração das esferas sorteando-se uma variável aleatória entre zero e um para cada voxel pertencente a fronteira e, caso esta variável seja menor do que f_B considera-se este voxel como fazendo parte da esfera, caso contrário, este voxel é considerado como não fazendo parte da esfera. O outro fator introduzido foi o fator de sobreposição ($f_S \in [1, L]$), este fator permite que se controle a interseção ou sobreposição das esferas geradas, fazendo com que seja possível uma atuação sobre a conectividade da imagem gerada, como isso é feito será indicado logo a seguir.

Tem início então o *looping* no qual serão geradas as esferas. Cada passo do *looping* corresponde a um diâmetro de esfera, começando com a geração das esferas de maior diâmetro indo na direção das de menor diâmetro. A primeira esfera é gerada em qualquer posição, as outras esferas de diâmetro $D \geq f_S$ são geradas, também, em posições escolhidas aleatoriamente. Para as esferas de diâmetro $D < f_S$ impõe-se que, pelo menos, parte de cada esfera se sobreponha a qualquer das outras esferas geradas. Deste modo, um fator de sobreposição alto implica na geração de esferas conectadas (sobrepondo-se em parte) umas com as outras, por outro lado um fator de sobreposição baixo implica na geração de uma imagem onde a disposição dos objetos que compõe a imagem é aleatória, podendo estes objetos estar ou não conectados.

Como foi mencionado, uma esfera pode ter parte de seu volume compartilhado com outra esfera, este fato não foi levado em consideração no cálculo de $n_e(D)$, portanto é necessário que se faça uma correção do volume de sólidos gerados – por exemplo, gerando-se mais esferas – a fim de evitar que seja gerada uma imagem com uma porosidade muito maior do que a porosidade da imagem original. Na exposição do procedimento adotado para esta correção será utilizada a definição de volume sobreposto associado a um diâmetro de esfera D , denotado por $V_S(D)$, que é a parte do volume das esferas de diâmetro D que, quando estas são geradas, intercepta outras esferas anteriormente geradas.

Ao fim de um passo no *looping* de geração das esferas, ou seja, tendo sido geradas $n_e(D)$ esferas de diâmetro D , se ocorrer que $V_S(D) > 0$ (houve sobreposição), então deve-se corrigir o volume gerando-se mais esferas. Denotando por $V_C(D)$ o volume total das esferas que serão geradas para corrigir o efeito da sobreposição, e $V_{resid}(D) = V_C(D) - V_S(D)$ a diferença entre o volume sobreposto e o volume gerado para corrigir a sobreposição, são geradas tantas esferas de diâmetro D , quanto for necessário para que a condição $V_{resid}(D) \leq 0$ seja satisfeita. Se a condição obtida for $V_{resid}(D) = 0$ retorna-se ao *looping* para a geração das esferas de diâmetro $D - 1$. Se, por outro lado, ocorrer que $V_{resid}(D) < 0$, significando que foi gerado um volume maior do que o necessário para a correção, então armazena-se a diferença ou volume residual, retorna-se ao *looping* para a geração das esferas de diâmetro $D - 1$, e ao término da geração das esferas de diâmetro $D - 1$, soma-se esta diferença ao valor de $V_{resid}(D - 1)$. Ou seja, faz-se $V_{resid}(D - 1) = V_C(D - 1) - V_S(D - 1) + V_{resid}(D)$, sendo $V_{resid}(D - 1)$ o volume residual após a geração das esferas de diâmetro $D - 1$; as esferas de diâmetro menor do que $D - 1$ são geradas de forma análoga. Neste ponto é importante notar que a medida que os diâmetros das esferas são menores os volumes residuais V_{resid} (que representam erro em relação a porosidade desejada) também o são, isso faz com que, no fim do *looping* de geração das esferas, os erros remanescentes sejam bastante pequenos. Um exemplo de imagem tridimensional reconstruída com o método das esferas sobrepostas é apresentado na Fig. (1).

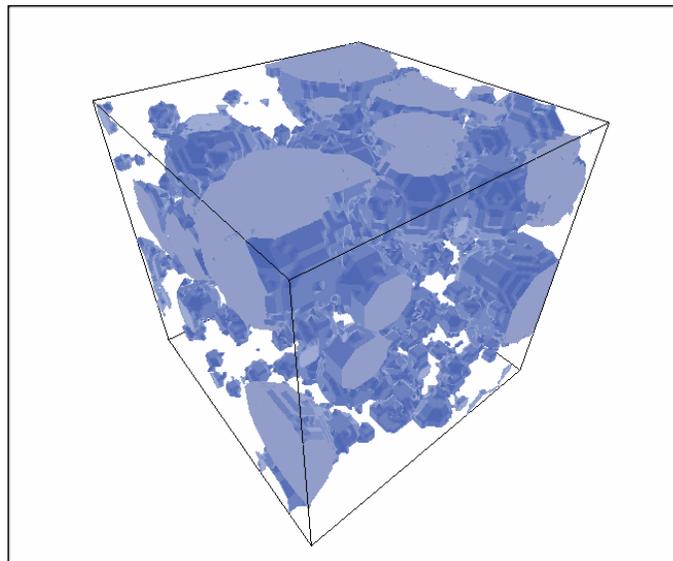
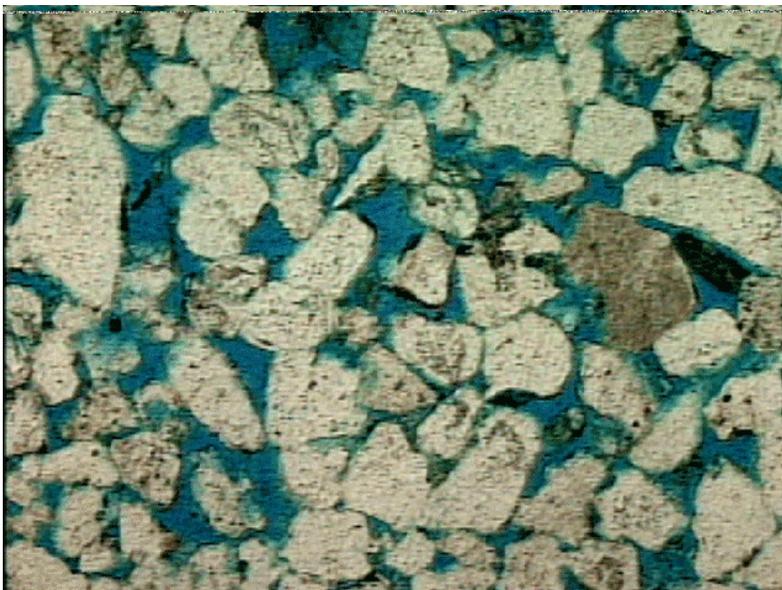


Figura 1. Aspecto de uma imagem 3-D de rocha reconstruída com o método das esferas sobrepostas

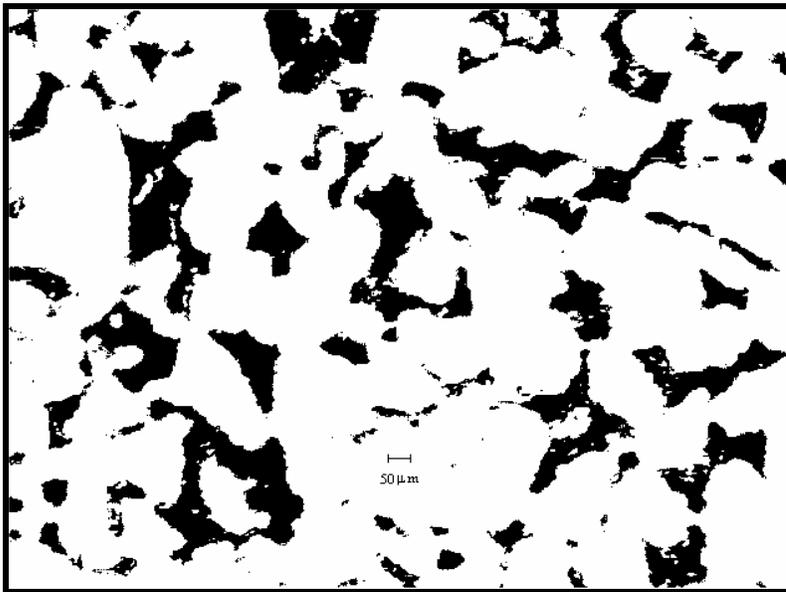
3. Aplicações a Rochas Reservatório

O método das esferas, como descrito no item anterior, foi aplicado na reconstrução 3-D da microestrutura de rochas reservatório. Para tanto, partindo-se de imagens coloridas de seções planas das rochas, obtidas através da observação microscópica de lâminas delgadas, procedeu-se a determinação da distribuição de tamanhos de sólidos. Esta determinação foi feita em imagens binárias, onde estão definidas as regiões de sólidos e poros, com o uso da operação de abertura morfológica (erosão seguida de dilatação), Coster & Chermant 1989. Na Fig. (2) mostra-se um exemplo de uma imagem colorida da seção plana de uma rocha e a respectiva imagem binária.

Deve ser ressaltado que para a quantificação dos parâmetros microestruturais (porosidade e distribuição de tamanhos de poros e sólidos) é feita uma média, considerando-se um lote de imagens tomadas da mesma lâmina delgada, de forma a assegurar representatividade estatística.



(a)



(b)

Figura 2. Em (a) uma imagem colorida: o espaço poroso de uma amostra de rocha foi impregnado a vácuo com uma resina com um corante azul tendo-se confeccionado uma lâmina delgada para observação no microscópio ótico. Em (b) a imagem binária obtida (espaço poroso em preto).

4. Resultados

Em imagens como a da Fig. (2b) foram medidas as distribuições de tamanho de sólidos, procedendo-se a reconstrução 3-D com o método das esferas proposto. Uma vez obtido o meio 3-D objetiva-se, como mencionado anteriormente, analisar as características da fase poro, uma vez que se está primordialmente interessado em problemas de escoamento de fluidos. Duas características são fundamentais, sendo utilizadas no presente artigo para a análise: a distribuição de tamanho de poros e a função de autocorrelação a dois pontos da fase poro. Esta função, denotada por $C(u)$ fornece informações acerca da organização espacial da microestrutura, dando a probabilidade de que dois pixels da imagem, separados por uma distância u , pertençam ambos à fase poro.

Na Fig. (3), faz-se a comparação, para uma rocha, da distribuição de poros média, medida em várias imagens originais, com a distribuição de poros do meio 3-D, obtida como uma média das seções. Os meios foram reconstruídos em sistemas de $200 \times 200 \times 200$ voxels.

Na Fig. (4) é feita a comparação das autocorrelações. Novamente, a comparação é feita com base nas autocorrelações médias das imagens 2-D e de seções do meio 3-D reconstruído.

Reporta-se que esta mesma análise foi feita para um bom número de rochas (em torno de 12) tendo-se obtidos resultados bastante similares aos apresentados nas Figs. (3) e (4).

Um outro resultado importante se refere à chamada porosidade aberta, obtida no meio 3-D. Uma vez que para a obtenção das imagens, amostras de rochas foram submetidas à vácuo e seu espaço poroso impregnado com uma resina azul, veja-se Fig.(2), as regiões azuis são certamente formadas de poros acessíveis a fluidos, ou seja de porosidade aberta. Poros isolados, não passíveis de serem invadidos por fluidos, a chamada porosidade fechada, não aparecem nas imagens, não sendo então considerados.

Quando se realiza um processo de reconstrução 3-D, pode ocorrer que o espaço poroso no meio reconstruído não seja composto somente de porosidade aberta, uma vez que esta condição não é imposta no processo de reconstrução. Desta forma, de uma dada porosidade aberta original uma fração pode se tornar fechada (poros isolados) na imagem reconstruída. Desta forma, a característica primeira de um material poroso, sua porosidade, não está sendo preservada, podendo ocasionar efeitos significativos quando da simulação de processos físicos na microestrutura 3-D.

Na Tabela 1 apresentam-se resultados da fração (percentual) de porosidade que é mantida aberta quando da reconstrução com o método das esferas sobrepostas comparados com os obtidos com o método de gaussiana truncada. Na primeira coluna (à esquerda) tem-se a porosidade original medida nas imagens de rochas; nas outras colunas o percentual de porosidade que se manteve aberta, com relação à porosidade original, considerando o método das esferas sobrepostas e o de gaussiana truncada. Para este cálculo foi utilizada a vizinhança denominada V_6 ; um dado voxel tem como vizinhos apenas os seis voxels com face comum a ele, que são os chamados vizinhos diretos.

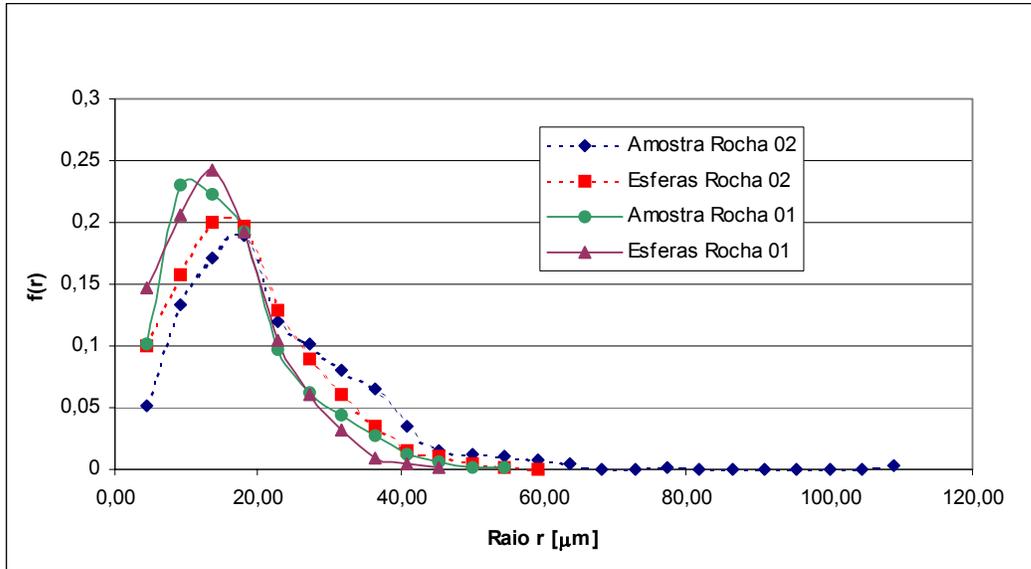


Figura 3. Comparação das distribuições de poros: imagens originais e seções do meio reconstruído 3-D

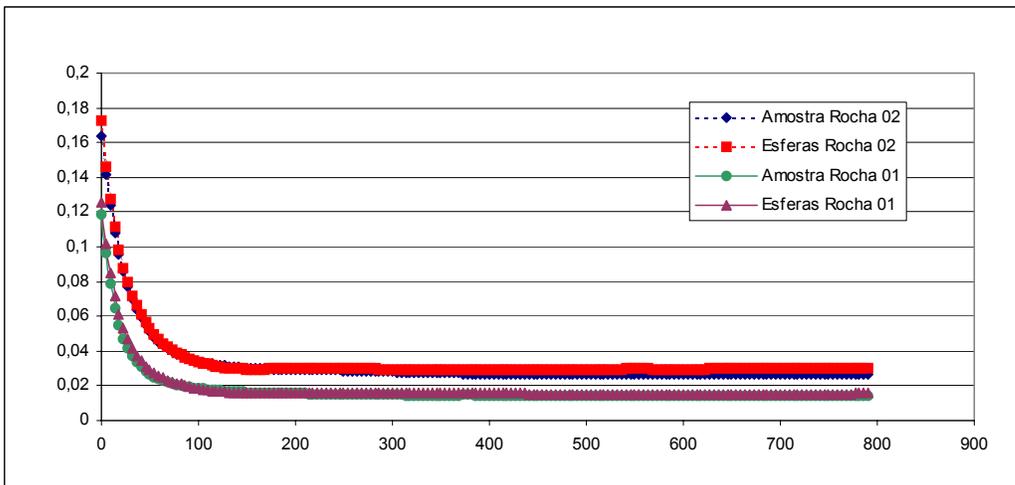


Figura 4. Comparação das autocorrelações: imagens originais e seções do meio reconstruído 3-D

Tabela 1. Porosidades abertas em meios reconstruídos 3-D.

ϕ (%)	V6 Esferas(%)	V6 Gaussiana Truncada (%)
19,37	99,6	66,5
13,99	98,8	4,4
17,47	99,5	52,7
14,62	99,1	15,9
16,51	99,5	54,7
16,39	99,4	74,3

5. Conclusões

Foi proposto um método de reconstrução 3-D baseado na preservação da distribuição de tamanho de grãos, modelados como esferas, medida em imagens 2-D de materiais porosos. O método se apresenta flexível permitindo que com o ajuste de parâmetros varie-se o volume de sobreposição das esferas, quer dizer, que se obtenha um dado grau de organização espacial (correlação) das esferas, e consequentemente do espaço poroso.

A análise das características geométricas do espaço poroso, comparando-se a distribuição de poros e autocorrelação das imagens originais e reconstruídas 3-D mostrou uma concordância bastante boa. Deve ser observado que para a rocha 02, grandes poros existentes nas imagens originais não foram reproduzidos na microestrutura reconstruída. Provavelmente, isto seja devido ao uso de um baixo valor no parâmetro de reconstrução f_s (fator de sobreposição).

Por último, as aplicações em rochas reservatório mostraram uma excelente preservação da porosidade aberta, tornando o método adequado para aplicações em rochas com grande organização espacial (em geral de baixa porosidade).

6. Agradecimentos

Celso P. Fernandes agradece o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo (ANP) da qual é Pesquisador Visitante junto ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Engenharia Mecânica com ênfase em Petróleo e Gás da Universidade Federal de Santa Catarina.

7. Referências

- Adler, P.M., Jacquin, C.G. & Quiblier, J.A., 1990, Flow in simulated porous media. *Int. J. Multiphase Flow* **16**, 691-712.
- Appoloni, C.R., Macedo A., Fernandes, C.P., Philippi, P.C., 2002, Characterization of porous microstructure by x-ray microtomography, *X-ray Spectrometry*, **31**, 2, 124-127.
- Coster, M. and Chermant, J.L., 1989, *Precis D'analyse D'images*. Presses du CNRS, Paris.
- dos Santos L.O. E., Philippi, P.C., Damiani, M.C., Fernandes, C.P., 2002, Using three-dimensional reconstructed microstructures for predicting intrinsic permeability of reservoir- rocks based on a boolean lattice gas method, In press, *Journal of Petroleum Science and Engineering*.
- Fernandes; C.P., Philippi; P.C., Daian; J.F., Damiani, M.C., da Cunha Neto, J.A.B., 2000, Determinação da permeabilidade de rochas reservatório reconstruídas em sistemas de percolação multiescala, ENCIT 2000 - 8th Brazilian Conference on Thermal Engineering and Sciences, Porto Alegre/RS.
- Fernandes, C.P., Magnani, F.S.; Philippi, P. C., Daian, J.F., 1996, Multiscale geometrical reconstruction of porous structures, *Physical Review E*, **54**, 2, 1734-1741.
- Hazlett, R.D., 1995, Simulation of capillary-dominated displacements in microtomographic images of reservoir rocks. *Transport in Porous Media*, **20**: 21-35.
- Koplik, J., Lin, C. & Vermette, M., 1984, Conductivity and permeability from microgeometry. *J. Appl. Phys.* **56**(11), 3127-3131.
- Kwicien, M.J., Macdonald, I.F. and Dullien, F.A.L., 1990, Three-dimensional reconstruction of porous media from serial section data. *J. of Microsc.*, **159**: 343-359.
- Liang, Z.R., Fernandes, C.P., Magnani, F.S. & Philippi, P.C. ,1998) A reconstruction technique for 3-D porous media using image analysis and Fourier transforms. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **21/3-4**, 273-283.
- Magnani, F.S., Philippi, P.C., Liang Z.R., Fernandes,C.P.(1998, Modelling Two-Phase Equilibrium in Three-Dimensional Porous Microstructures. Aceito para publicação no *International Journal of Multiphase Flow*.
- Neimark, A. V., 1989, Multiscale percolation systems. *Sov. Phys. JETP*. v.69, n.4, p.786-791.
- Paiva, R.F., 1995, Développement d'un microtomographe X et application à la caractérisation des roches réservoirs, Thèse de Doctorat, Université Paris VI.
- Philippi, P.C., Yunes, P.R., Fernandes, C.P. & Magnani, F.S., 1994, The microstructure of porous building materials: study of a cement and lime mortar. *Transport in Porous Media* **14**, 219-245.
- Quiblier, J.A. (1984) A new three-dimensional modeling technique for studying porous media. *J. Colloid Interface Sci.* **98**: 84-102.

THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF POROUS MICROSTRUCTURES WITH THE SUPERPOSED SPHERES METHOD

Luís O. Emerich dos Santos

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
emerich@lmpt.ufsc.br

Paulo C. Philippi

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
philippi@lmpt.ufsc.br

Celso P. Fernandes

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
celso@lmpt.ufsc.br

Henrique C. de Gaspari

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade 88040 900 Florianópolis SC
gaspari@lmpt.ufsc.br

Abstract. Macroscopical physical proprieties of materials are decurrent of their microstructural formation. In this manner, the permeability of an oil reservoir rock depends upon the size distribution and spatial organization of porous phase. To understand this influence and determine macroscopical proprieties, physical processes have been simulated in 3-D models of structures. The data needed to generate these models are frequently acquired by mercury intrusion, adsorption isotherms, and more recently by means of image analysis techniques applied on 2-D sections of the materials. Other techniques, like microtomography and serial sectioning, have been used permitting to obtain directly the 3-D structure. Nevertheless, these techniques are more expensive than the formers and, saying only about microtomography, this technique does not permit high spatial resolution. This article is concerning the 3-D modelization, commonly called 3-D reconstruction, of porous microstructures that conserves (or tries to conserve) geometrical proprieties measured on 2-D images of materials. The truncated Gaussian method have been widely used with this purpose, nevertheless, it does not seem to be suitable to preserve the geometry of strongly spatially correlated structures. The superposed spheres method presented in this article intend to supply this lacuna with the creation of 3-D models in which are imposed the conservation of the grain size distribution measured in 2-D images of the materials. Although it imposes the conservation of the grain distribution (modeled like spheres) the aim is the conservation of the porous size distribution and spatial organization of the porous phase, where the fluid invasion processes occur. The method is described and applied to 3-D reconstruction of various rocks. The geometry of the 3-D reconstructed medium is compared with the geometry of the 2-D images aiming the validation of the proposed method and also their applicability and limitations.

Key-words: oil reservoir rock, microstructure, 3-D reconstruction